

PROPUESTA GEOLÓGICA DE MICROZONAS SÍSMICAS PARA LA CIUDAD DE CARACAS

JAVIER OROPEZA ¹, ANDRÉ SINGER ²

¹Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas - FUNVISIS, correo-e: joropeza@funvisis.gob.ve

²Universidad Central de Venezuela y FUNVISIS, correo-e: singer.andre1@gmail.com

Recibido: octubre de 2009

Recibido en forma final revisado: julio de 2011

RESUMEN

El presente trabajo resulta de la creación de una base de datos de Geología Urbana del valle de Caracas, tomando en cuenta la carencia llamativa de información geológica concerniente al asiento aluvial de la ciudad capital. Entre los resultados más significativos, se encuentra una propuesta geológica de 11 microzonas consideradas homogéneas para fines de microzonificación sísmica y plasmadas en un mapa de unidades geológicas cuaternarias y fallas cuaternarias del valle de Caracas, así como la caracterización de cada microzona geológica en función de la evaluación de 7 parámetros considerados como significativos.

Palabras clave: Geología urbana, microzonificación sísmica, fallas cuaternarias, depósitos aluviales, Caracas

GEOLOGICAL DATABASE FOR CARACAS CITY SEISMIC MICROZONING

ABSTRACT

Due to the lack of subsoil geological information of the alluvial sediments, has been created a urban geology database for the Caracas Valley. These geological data base supports a geological proposal of 11 microzones considered homogeneous for seismic microzoning, which have been reflected on a quaternary map of geological formations and faults. The characterization of each microzone is based on the geological evaluation of 7 parameters considered as significant.

Keywords: Urban geology, seismic microzoning, quaternary faults, alluvial deposits, Caracas

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto de Microzonificación Sísmica de Caracas (Schmitz *et al.* 2009) se realizó una recopilación de la documentación de interés geológico disponible, con el propósito de generar una base de datos de geología urbana para la ciudad de Caracas (Oropeza & Zambrano, 2007) (figura 1). Uno de los aportes más significativos de esta investigación es la culminación de la cartografía de los depósitos cuaternarios del valle de Caracas (figura 2), iniciada después del terremoto de 1967 en la parte oriental de la depresión aluvial (Singer 1974, 1977), con motivo de la concentración sorpresiva de daños estructurales, colapsos de edificios y víctimas mortales en el sector de Los Palos Grandes, no obstante la magnitud relativamente moderada de este evento sísmico. Este hecho llamativo es relacionado tempranamente y en forma preliminar por Sozen *et al.* (1968), con la profundización anómala del tope de roca y correspondiente engrosamiento del espesor de suelo en este sector del Valle de Caracas, sobre la base de las primeras evidencias geofísicas obtenidas de la existencia de esta cuenca por la Delaware Corporation (1950), pero sin

disponer todavía de los elementos geológicos y tectónicos de explicación plausibles de la misma. El mapa geológico del Cuaternario del Valle de Caracas (figura 2), producido por Singer *et al.* (2007), refleja la complejidad de las condiciones geológicas de esta depresión aluvial de origen neotectónico, las cuales son susceptibles de modificar el comportamiento de las ondas sísmicas de acuerdo a la respuesta dinámica de los diversos cuerpos de sedimentos que éstas atraviesan.

Los fundamentos metodológicos de la pertinencia de una base de información detallada de geología del Cuaternario como la producida para el conjunto del valle de Caracas, para fines de microzonificación sísmica, se basa en los resultados experimentales cada vez más numerosos y promisorios obtenidos en diversas regiones del planeta como Japón, Taiwán, Australia, Italia y, en particular, en California, concernientes a la existencia de correlaciones empíricas representativas para fines de predicción de valores de velocidad de ondas de corte Vs30, entre el desglose cartográfico de unidades geológicas aluviales cuaternarias definidas entre otros criterios, a partir de

parámetros estratigráficos de edad relativa y por medio de geología de superficie, y la correspondiente categorización de las respuestas sísmicas de los suelos en diversos niveles escalares de resolución (Park & Elrick, 1998; Wills & Silva, 1998; Wills *et al.* 2000; Wills & Clahan, 2006).

Condiciones geológicas de interés general

Una de las características más resaltantes del referido mapa geológico, es la distribución de los depósitos aluviales cuaternarios que rellenan la cuenca del valle de Caracas (figura 2). En efecto, por su naturaleza dinámica y correspondiente polaridad norte-sur, los eventos de deslave y aludes torrenciales que integran las unidades aluviales del Pleistoceno Q_4 a Q_1 , ocupan un ancho significativo del valle de Caracas y son responsables del confinamiento de las unidades holocenas en un estrecho corredor aluvial acuñaado contra el basamento rocoso en la margen sur del mismo, lo cual define un escenario propicio para el desarrollo de efectos de borde de cuenca (figura 2).

Igualmente, por su condición de falla de sitio ubicada en el límite norte de la ciudad, la falla El Ávila, cuya actividad paleosísmica ha sido comprobada recientemente por medio de geología de trinchera cerca de la Universidad Metropolitana (UNIMET) (Rodríguez *et al.* inédito), genera una franja de deformaciones piemontinas responsables de la geometría y distribución de los depósitos del Pleistoceno inferior Q_4 y Q_3 y del Pleistoceno medio Q_2 a lo largo del Valle de Caracas (Singer *et al.* 2007). Al oeste, los depósitos del Pleistoceno inferior han sido incorporados al levantamiento del macizo montañoso, a través de rampas laterales piemontinas de orientación NNO-ESE conectadas

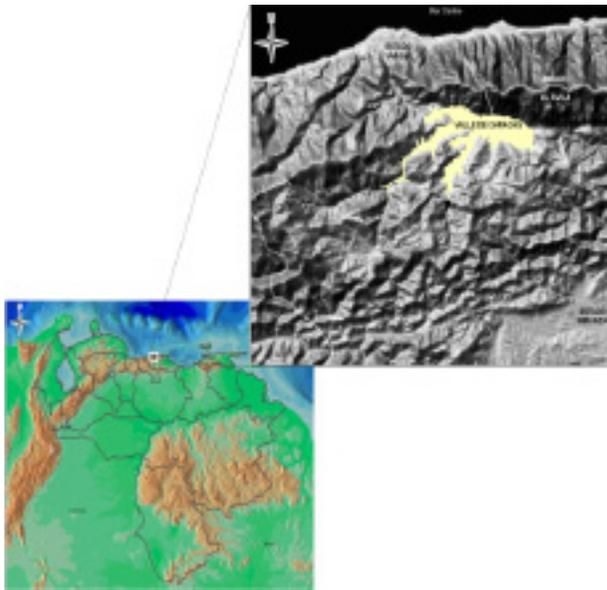


Figura 1. Ubicación del área de estudio (Garrity *et al.* 2004)

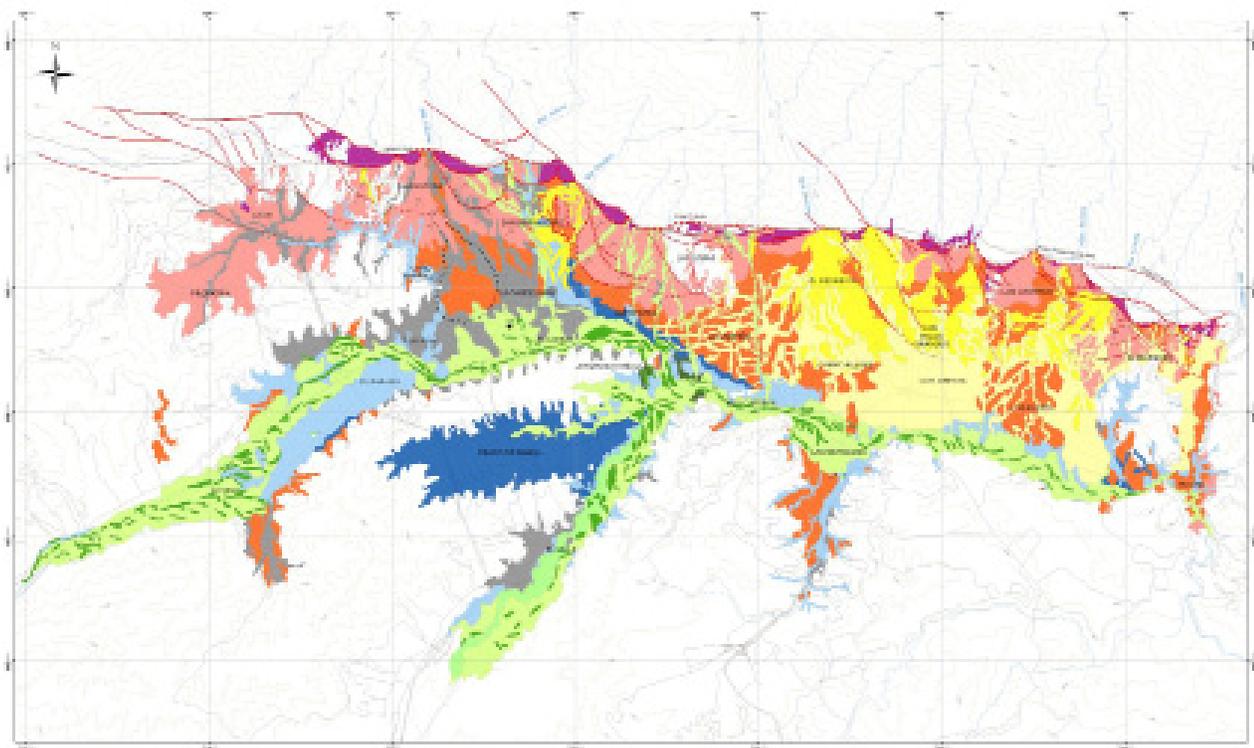


Figura 2. Mapa geológico del Cuaternario y de las fallas cuaternarias del Valle de Caracas (Singer *et al.* 2007). La leyenda de esta figura puede ser consultada útilmente por los lectores interesados en la fuente original señalada.

con la falla El Ávila, lo cual permite una mayor extensión de estos depósitos hacia el sur, como es notorio en el sector de San Bernardino (figura 2). Al este, estos mismos depósitos del Pleistoceno inferior se encuentran cruzados en tijera con los sedimentos más recientes Q_2 , y confinados al pie de El Ávila en una estrecha zona de deformaciones tectónicas (Singer *et al.* 2007). Esta configuración geométrica de las unidades cuaternarias responde a un comportamiento tectónico diferente de la depresión de ángulo de falla, con una mayor resistencia al hundimiento de la parte occidental y una clara tendencia a la subsidencia de la parte oriental del mismo, por lo menos hasta el Pleistoceno medio Q_2 (Singer, 1977; Singer *et al.* 2007).

Por otra parte, los diversos estudios geofísicos y perforaciones profundas acometidos en el valle de Caracas para mejorar el conocimiento de la geometría de la cuenca, corroboran las anomalías evidenciadas a nivel del comportamiento del basamento rocoso por medio de la cartografía del Cuaternario. De esta manera, se verifica la existencia de 2 subcuencas con profundidades anómalas del basamento. Una, en el sector de Los Palos Grandes, donde el basamento rocoso se encuentra a una profundidad superior a 330 m. Otra, en el sector de San Bernardino, donde el mismo supera los 205 m de profundidad (Schmitz *et al.* 2009). La importancia del conocimiento de la geometría de la cuenca para fines de microzonificación sísmica, radica en que la curvatura cóncava del basamento rocoso puede atrapar los cuerpos de onda y perturbar su propagación a través del relleno sedimentario de la misma (Kramer, 1996). Estudios previos realizados en referencia a este tema (King & Tucker, 1984; Bard & Gariel, 1986) señalan variaciones significativas por amplificación o por atenuación en el comportamiento de la onda sísmica en el depocentro y en los bordes de cuencas. De esta manera, geometrías del basamento como las señaladas podrían constituir sectores de respuesta sísmica potencialmente conflictiva en el Valle de Caracas, como es el caso de la depresión asimétrica de ángulo de falla de Los Palos Grandes y las correspondientes cuñas sedimentarias generadas del lado sur, en contacto con el basamento rocoso.

Adicionalmente, enclaves naturales topográficamente confinados y con poca profundidad del basamento rocoso, como las depresiones aluviales rodeadas de crestas rocosas de Catia y de El Cementerio, plantean condiciones de sitio y escenarios de amenaza particulares, que complican la presencia en las mismas de sedimentos limo-arcillosos plásticos con intercalaciones discontinuas de arenas saturadas de agua. Estos escenarios son susceptibles de presentar un interés para la evaluación de los daños del terremoto de 1967 en las referidas depresiones (Oropeza

et al. 2009).

Propuesta geológica de microzonas homogéneas del valle de Caracas

La integración de la información geológica del Valle de Caracas, permitió definir 11 unidades geológicamente homogéneas para fines de microzonificación sísmica (figura 3), las cuales se presentan a continuación:

a) Vegas aluviales holocenas (zona 6, figura 3)

Las zonas más deprimidas del Valle de Caracas ubicadas a lo largo de los ríos Guaire y Valle, se encuentran constituidas por depósitos de vega aluvial areno-limosos con intercalaciones de arcillas orgánicas, correspondientes al sistema local principal de drenaje, y a lo largo del cual se extiende el corredor de obras de comunicación vial más importante de la ciudad. El bajo grado de compactación y el probable potencial de licuación de los suelos de edad muy reciente correspondientes a estas vegas aluviales, podrían propiciar respuestas locales conflictivas, como se infiere de los casos documentados de daños por asentamiento observados en viviendas con fundaciones directas al registrarse descensos de la mesa de agua de origen climático o artificial (Arnal, 1961), así como por señalamientos de volcanes de arena en el terremoto de 1812. Este tipo de respuesta del suelo podría encontrarse agravada en los escenarios muy generalizados de bordes de cuenca, como resultado del acuñamiento de las vegas aluviales contra el basamento rocoso o contra depósitos lacustres adosados a la roca, en los cuales estos materiales de vega pueden encontrarse encajados y localizar mesas de agua emperchadas.

b) Cuenca lacustre de Prado de María-El Cementerio-San Pedro (zona 1, figura 3)

La depresión de El Cementerio-San Pedro representa un enclave natural formado por estribaciones rocosas de los Esquistos Las Mercedes dispuestas en forma de herradura. En esta depresión, se han depositado sedimentos arcillo-limosos con intercalaciones arenosas como producto de un evento de sumersión lacustre generado por la obturación lateral del río Guaire en épocas pleistocenas $Q_2(?)$ a Q_1 (Singer *et al.* 2007). Según Muñoz & Singer (1977), estos depósitos lacustres superan los 10 metros de espesor en el depocentro de la cuenca y pasan lateralmente a depósitos de origen coluvio-torrencial hacia los bordes. La importancia de estos depósitos para fines de microzonificación sísmica, radica en que este tipo de suelos presenta facies arenosas que pudieran ser potencialmente licuables, así como facies mas finas limosas propensas a generar fenómenos de

tubificación con el consecuente riesgo de asentamientos y de colapsos tanto bajo carga estática como dinámica, los cuales pueden ser de interés para evaluar los daños estructurales observados en 1967 en los bordes de esta cuenca (Castillo & Ramos, 2011).

c) Abanicos aluviales deformados del Pleistoceno inferior (zona 3, figura 3)

Entre el sector de San Bernardino y el saliente rocoso de Las Lomas de la Alta Florida, se registra la mayor concentración de deformaciones neotectónicas, en particular en los depósitos del Pleistoceno inferior Q_4 y Q_3 (Singer *et al.* 2007), como resultado de la incorporación de este ex-sector de cuenca al levantamiento de la mole tectónica de El Ávila, a través de rampas laterales piemontinas controladas por accidentes de orientación NNO-ESE conectados con la falla El Ávila a lo largo de la avenida Boyacá o Cota Mil. Además, la profundidad anómala del basamento rocoso en San Bernardino (> 205 m), plantea respuestas sísmicas potencialmente conflictivas, conforme a lo evidenciado en el terremoto de 1967. Adicionalmente, este sector se encuentra expuesto a aludes torrenciales provenientes de la Quebradas Anauco y Gamboa, como los ocurridos recientemente en los años 1951 y 1999.

d) Cuenca de Los Palos Grandes con geometría de cáustica (zona 2, figura 3)

El sector de Los Palos Grandes y sus alrededores presentan

condiciones geológicas de particular importancia para fines de microzonificación sísmica, como resultado de la profundidad anómala del basamento rocoso en este sector de cuenca cuya geometría en forma de cáustica es favorable para el enfocamiento y amplificación de las ondas sísmicas (Urbina & Grases, 1983). La respuesta conflictiva de este sector quedó evidenciada en el terremoto de 1967, al concentrarse los daños más severos en Los Palos Grandes, en la vertical de los mayores espesores de sedimentos (> 330 m). Adicionalmente, esta depresión se encuentra expuesta a la acción recurrente de flujos de deslaves torrenciales evidenciados en El Pedregal, La Castellana y La Floresta en época prehispánica y cuyo periodo de retorno podría alcanzar unos 500 años (Singer *et al.* 2010).

e) Cuenca alveolar de Catia (zona 8, figura 3)

La cuenca de Catia representa un enclave natural formado por estribaciones rocosas del Esquistos Las Brisas dispuestas en formas de herradura, condición que genera sitios susceptibles de sufrir efectos de borde de cuenca. Según Camacho (1927), esta depresión presenta intercalaciones de niveles de “arena fina y gruesa, greda y arcilla” saturados de agua, cuyos depósitos arcillosos eran utilizados para producir materiales destinados a la construcción (Manzano, 1951). La importancia de estos depósitos para fines de microzonificación sísmica se basa en el potencial de los mismos en generar asentamientos del terreno.

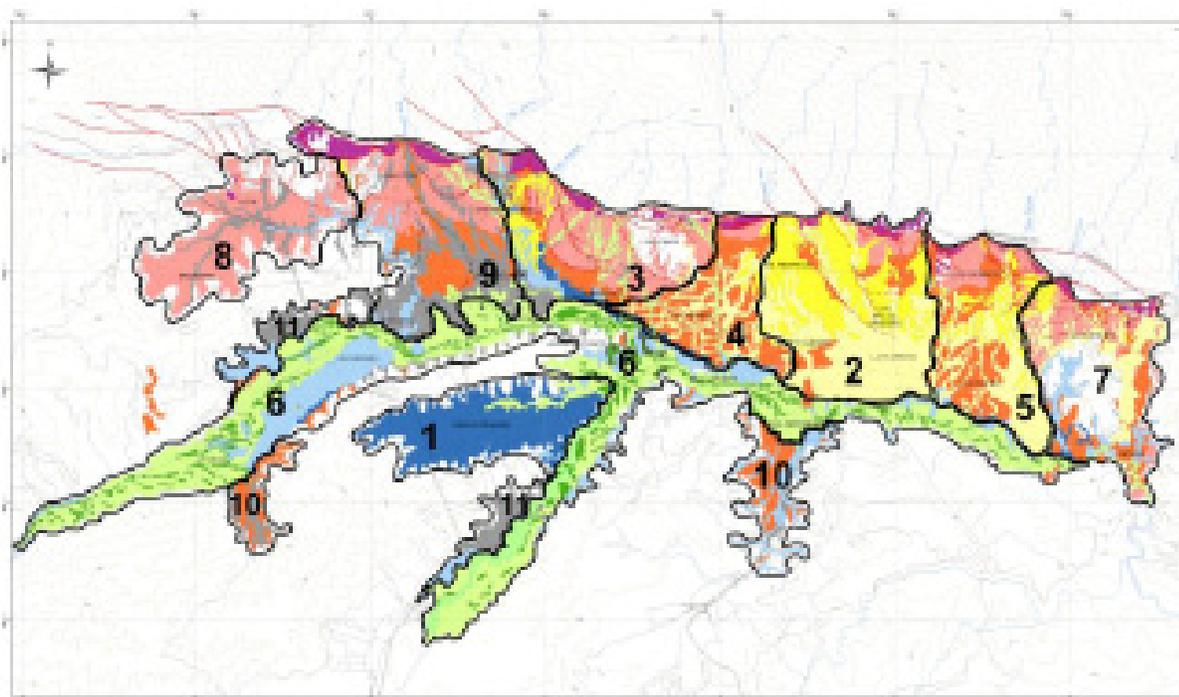


Figura 3. Propuesta geológica de microzonas sísmicas para el Valle de Caracas (Oropeza & Zambrano, 2007).

f) Núcleo rocoso de El Marqués (zona 7, figura 3)

Hacia el cierre oriental de la cuenca aluvial del Valle de Caracas, se ubica un núcleo rocoso de los Esquistos Las Mercedes rodeado de material de origen aluvial depositado principalmente por las quebradas Tócome, Caurimare, Galindo y Pasaquire. Esta última quebrada fue rellenada artificialmente para la construcción de la actual Av. Sanz y del distribuidor vial hacia la Av. Boyacá (Cota Mil) cuando se prolongó esta avenida hacia el este en 1972. El dispositivo señalado genera zonas potencialmente conflictivas debido a las cuñas sedimentarias adosadas contra el referido basamento rocoso.

g) Abanicos aluviales pleistocenos del casco colonial de la ciudad (zona 9, figura 3)

La ciudad colonial se asienta sobre los abanicos pleistocenos Q_3 , Q_2 y Q_1 cruzados en tijera y cuyos materiales presentan facies más gruesas en la parte apical, y predominantemente finas, limo-arenosas, en la extremidad distal. El sitio ocupado por el núcleo urbano inicial corresponde a una estrecha franja N-S de terrenos interrumpidos al este por la Qda. Catuche, salvada mediante puentes, y al oeste por la Qda. Los Padrones o Leandro, eliminada tempranamente mediante relleno a contar del siglo XVII. De esta manera, el perímetro de la ciudad colonial ubicado entre La Candelaria, Caño Amarillo y La Pastora, y señalado por una línea punteada en las figuras 2 y 3, se encuentra definido en el subsuelo, por una gruesa capa de escombros arqueológicos de hasta más de 4 metros de espesor, como resultado de las destrucciones y reconstrucciones históricas sucesivas del espacio construido (figura 4). Excavaciones arqueológicas practicadas en los cimientos de edificaciones

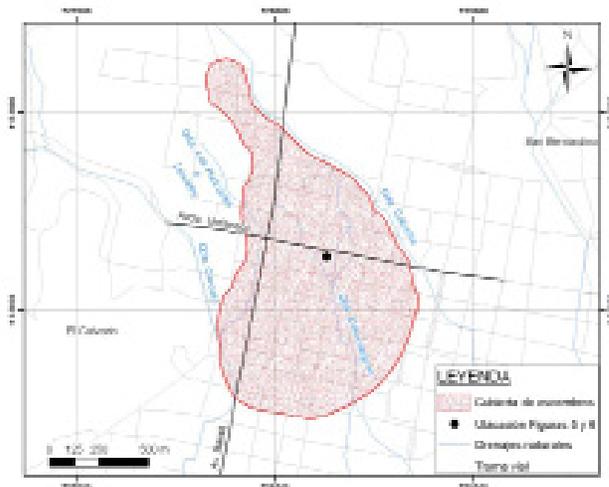


Figura 4. Extensión aproximada de la capa de escombros arqueológicos de la ciudad colonial de Caracas entre las quebradas Catuche y Los Padrones-Caroata (Oropeza & Zambrano, 2007)

coloniales encontradas en la base de la capa de escombros evidenciaron deformaciones permanentes que podrían relacionarse con los terremotos de 1641 y 1812 (Sanoja & Vargas-Arenas, 2002; Oropeza & Zambrano, 2007). En efecto, en el subsuelo de la Escuela José Ángel Lamas, Sanoja & Vargas-Arenas (2002) encontraron restos de ladrillos fracturados y rotados a 45° en dirección NO-SE y pertenecientes a la iglesia II (San Sebastián-San Mauricio), atribuidos al terremoto de 1641, responsable de la destrucción de la referida iglesia (figura 5). De la misma forma, estos autores identificaron en un muro de tapia de la iglesia IV (San Mauricio), una discontinuidad constructiva muy vistosa, que atribuyen al terremoto de 1812, al haber tenido que reconstruirse esta pared de tapia después del terremoto con materiales diferentes (figura 6).

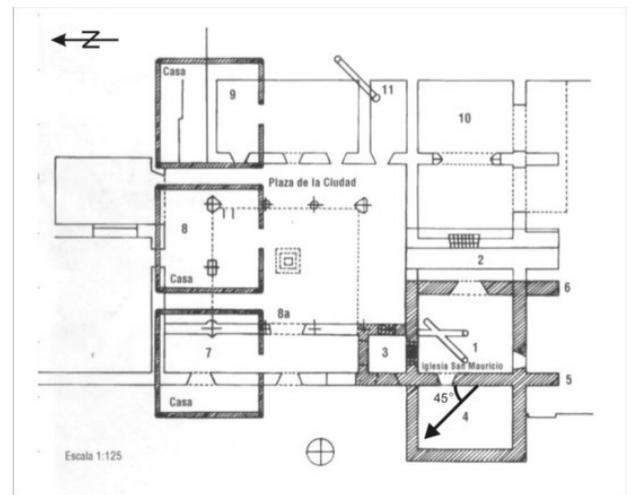


Figura 5. Vista en planta de la Iglesia II (San Sebastián-San Mauricio) y ubicación de ladrillos rotados 45° hacia el NO por el terremoto de 1641 (Modificado de Sanoja & Vargas Arenas, 2002)

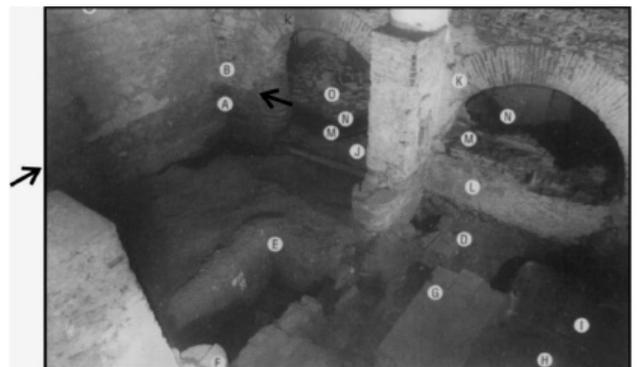


Figura 6. Discontinuidad constructiva atribuida al terremoto de 1812 en las estructuras de la Iglesia IV (San Mauricio), ubicadas en las fundaciones de la Escuela José Ángel Lamas, Av. Urdaneta (Modificado de Sanoja & Vargas Arenas, 2002)

Adicionalmente, la prolongación del estribo rocoso de El Calvario en dirección a la ciudad por medio de la loma de la

“Faltriquera”, erradicada en la Colonia entre la Qda. Caroata y la actual Plaza Caracas y cuya memoria geológica perdura en la Esquina de La Pedrera (Oropeza & Zambrano, 2007), plantea una complejidad geológica adicional en el subsuelo del casco urbano y en la respuesta sísmica del mismo, al introducirse el referido saliente rocoso transversalmente bajo la cubierta de abanicos aluviales pleistocenos.

h) Canales de deslave holocenos (zonas 4 y 5, figura 3)

La complejidad geológica-geotécnica del subsuelo aluvial mas superficial de la parte este de la ciudad, está señalada por dos sectores de canales de deslaves holocenos originados por la transfluencia de las quebradas Tócome y Chacaíto hacia el oeste y hacia la Plaza Venezuela, y cuyos materiales arenosos se encuentran empotrados en el tope arcilloso de los abanicos aluviales Q_2 mejor consolidados del Pleistoceno medio y de los depósitos lacustres Q_1 , propiciando de esta manera la ubicación en los mismos de mesas locales de agua emperchada (Singer *et al.* 2007, véase figura 20). La profundidad anómala del basamento rocoso entre Los Dos Caminos y Montecristo (± 300 m) conjuga sus efectos con las características anisotrópicas señaladas de la geología de superficie, como factores potenciales de desmejoramiento de la respuesta sísmica de los terrenos de esta microzona sísmica.

i) Terrazas aluviales de Vista Alegre y El Valle (zonas 11, figura 3)

Los sectores de Vista Alegre-El Guarataro y El Valle se encuentran desarrollados sobre un nivel de terraza aluvial del Pleistoceno superior Q_1 , que domina las vegas aluviales holocenas de los ríos Guaire y Valle, y conformado por depósitos areno-gravosos de origen lateral mal consolidados y acuñados contra el basamento rocoso, escenario favorable para el desarrollo de efectos de borde.

j) Rampas coluvio-torrenciales de La Vega y Valle Arriba (zonas 10, figura 3)

En la desembocadura de las quebradas La Vega y Baruta hacia el río Guaire se edificaron rampas detríticas de materiales areno-gravosos del Pleistoceno medio Q_2 , intercalados con horizontes arcillo-limosos de origen coluvio-torrencial de espesores importantes y morfología degradada muy irregular.

Caracterización de microzonas

La caracterización geológica de las microzonas anteriormente señaladas, se realizó sobre la base de la evaluación de los siguientes parámetros significativos

y solape aproximado de las correspondientes capas de información:

- *Características litológicas en superficie*: las cuales son extraídas de la descripción litológica general de las unidades geológicas cuaternarias cartografiadas (Singer *et al.* 2007).

- *Profundidad del tope de roca*: correspondiente a la profundidad promedio del basamento rocoso señalada en el mapa de espesores de sedimentos de Moncada (2005). De una manera muy general: a mayor espesor de sedimentos mayor amplificación de las ondas sísmicas.

- *Profundidad de la mesa de agua*: se refiere a la profundidad estimada del tope de la mesa de agua según el mapa de isopiezas de Delaware Corporation (1950) y en virtud de la importancia concedida a la misma en los trabajos de microzonificación sísmica de Medvedev (1962, 1972).

- *Enclaves urbanos*: se refiere a los niveles de incomunicación vial generados por los factores de confinamiento naturales del valle y colinas de Caracas (microcuencas de drenaje, trazado de quebradas, entre otros.) (Oropeza & Zambrano, 2007).

- *Concentración de daños sísmicos*: extraída del mapa de distribución de daños causados por el sismo de 1967, realizado por la Oficina Metropolitana de Planificación Urbana (OMPU) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP) en 1968.

- *Fuentes de deformaciones permanentes*: se refiere a la posibilidad de ocurrencia de las siguientes manifestaciones de rupturas de superficie originadas por: a) fallamiento activo; b) licuación de suelos; c) trayectoria de aludes torrenciales y deslizamientos de tierra, etc.; d) asentamientos del terreno.

- *Geositos potencialmente vulnerables*: conciernen a las respuestas sísmicas potencialmente desfavorables que se pueden esperar de los terrenos por efectos de borde de cuenca y otras geometrías desfavorables, así como por el espesor de la columna de sedimentos, y efectos topográficos de tope y pie de crestas y taludes.

La tabla 1 presenta la evaluación de los parámetros geológicos que entran en la caracterización de cada microzona separada.

Tabla 1. Descripción de los parámetros geológicos utilizados para la caracterización de las microzonas propuestas.

MICROZONA	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS EN SUPERFICIE	PROFUNDIDAD PROMEDIO DEL TOPE DE ROCA (según mapa de espesor de MONCADA, 2005) vs datos de perforación (Schmitz <i>et al.</i> 2009)	PROFUNDIDAD ESTIMADA DE TOPE DE LA MESA DE AGUA (según mapa de curvas isopiezas de DELAWARE CORP. 1950)	ENCLAVES URBANOS	CONCENTRACIÓN DE DAÑOS SÍSMICOS (Terremoto de 1967)	FUENTES DE DEFORMACIONES PERMANENTES			Asentamientos del suelo, otros	GEOSITIOS CON RESPUESTA SÍSMICA POTENCIALMENTE CONFLICTIVA
						Fallamiento activo	Licueción de suelos	Trayectorias de aludes torrenciales y flujos de descarga		
CEMENTERIO 1	Depósitos arcillo-limosos de hasta más de 20 metros de espesor. En los bordes de cuenca estos depósitos pasan lateralmente a depósitos de origen coluvio-torrencial	30 m. Aumenta hacia el este	15 m. Aumenta en dirección ENE	Enclave natural formado por estribos rocosos dispuestos en forma de herradura, abierta hacia el este; con problemas de comunicación en dirección N-S (túneles El Valle y El Paraíso)	Concentración de daños en los sectores de El Cementerio, Prado de María, San Pedro (borde sur de la cuenca)	Posibles evidencias indirectas a partir de datos geológicos de pozos de agua (1950)	Aunque no hay registro de licueción en la zona, los depósitos lacustres son suelos potencialmente licuables en presencia de mesa de agua alta	No hay registro	Los depósitos arcillo-limosos de origen lacustre son propensos a generar asentamientos y fenómenos de tubificación y colapso	- Zona de contacto roca-sedimentos lacustres (borde de cuenca) - Espesores de depósitos lacustres de ± 30 m, en el depocentro de la cuenca
LOS PALOS GRANDES 2	Acumulaciones caóticas de bloques rocosos. Al sur, depósitos arcillo-limosos. Ambos generados por aludes torrenciales Q_{10}	150 m. Profundidad máxima: 330 m (por lo menos 281 m en la perforación de Santa Eduvigis y 128 m hasta el tope de roca en la perforación de Inparques)	10 m. Aumenta hacia el sur	Enclaves naturales generados por quebradas N-S. a) Problemas de comunicación N-S, representado por el río Guaire y el Aeropuerto La Carlota. b) Problemas secundarios E-O, por las quebradas N-S: Chacaito, Los Pajaritos y Sebucán, por el Parque del Este y los campos de golf del Country Club	Mayor concentración de daños estructurales y colapso de 4 edificios en el sector de Los Palos Grandes	Evidencias de fallas NO-SE de edad relativa Q_2 en el subsuelo y en superficie	No hay registro. Poca posibilidad por las características granulométricas de los depósitos	Extenso sector de explayamientos de aludes torrenciales holocenos	Muy poco probable	Corresponde al depocentro de la cuenca. Geometría de caústica favorable al enfocamiento de ondas sísmicas

Tabla 1. Continuación.

<p>SAN BERNARDINO 3</p>	<p>Al norte, depósitos heterogéneos con acumulaciones caóticas de clastos alterados geoquímicamente. El bloque rocoso de La Florida está constituido por el esquisto cuarzo-feldespático-micáceo, correspondiente al Esquistos Las Brisas. Al Sur, depósitos sedimentarios finos con arcillas limosas huecuelas encajadas en los abanicos Q_2.</p>	<p>60 m. Profundidad máxima: 120 m (por lo menos 205 m en la perforación de San Bernardino)</p>	<p>20 m</p>	<p>Enclaves naturales formados por quebradas N-S (Gamboa, Cmoa, Maripérez), con problemas de comunicación E-O acentuado por el macizo rocoso de Las Lomas y Alta Florida, y el Parque Los Caobos</p>	<p>Concentración de daños en los sectores de San Bernardino, Sarría, Santa Rosa y Maripérez</p>	<p>Evidencias en rampas laterales cuaternarias Q_4 a Q_2 (?)</p>	<p>No hay evidencias. Pero posible en las vegas aluviales del río Anaúco</p>	<p>Evidencias de desmadre de los aludes holocenos fuera de las quebradas Anaúco, y Gamboa hacia la actual Av. Vollmer. Eventos de flujos torrenciales en los años 1951 y 1999 (Río Anaúco)</p>	<p>Posibles en las vegas aluviales del río Anaúco</p>	<p>Depocentro con espesor de sedimentos de por lo menos 205 m</p>
<p>CHACAÍTO 4</p>	<p>Depósitos heterogéneos con acumulaciones de clastos angulosos, bloques aislados y canales arenosos</p>	<p>60 m</p>	<p>10 m. Aumenta hacia el sur</p>	<p>Enclaves naturales formados por quebradas N-S, con problemas de comunicación E-O</p>	<p>Daños dispersos en los sectores de El Bosque, Chapellín y La Campiña</p>	<p>Evidencias en rampas laterales cuaternarias Q_5</p>	<p>No hay evidencias</p>	<p>Corresponde a un amplio sector de canales de deslaves deláuticos holocenos</p>	<p>Posible en las vegas aluviales de las quebradas N-S</p>	<p>Sedimentos poco consolidados de los canales de deslave holocenos</p>
<p>LOS CHORROS-MONTECRISTO 5</p>	<p>Depósitos heterogéneos con acumulaciones de clastos angulosos, bloques aislados y canales arenogravosos</p>	<p>110 m. Aumenta hacia el noroeste (217 m hasta el tope de roca en la perforación de Los Chorros)</p>	<p>40 m</p>	<p>Enclaves naturales formados por quebradas N-S. a) Problemas de comunicación E-O por el Parque del Este y quebradas N-S, acentuados entre las urbanizaciones Sebucán y Los Dos Caminos b) Problemas de comunicación N-S por el río Guaire</p>	<p>Daños dispersos en los sectores de Montecristo y Los Chorros</p>	<p>Evidencias de fallas NO-SE cuaternarias Q_4 a Q_2 (?)</p>	<p>No hay evidencias</p>	<p>Aludes torrenciales holocenos provenientes de las quebradas Tócome y La Julia, y eventos de los años 1951 y 1999</p>	<p>Posible en las vegas aluviales de las quebradas N-S</p>	<p>- Espesores de sedimentos considerable (~300 m) en el sector de Sebucán</p>

Tabla 1. Continuación.

<p>Vegas de los ríos GUAIRE y VALLE 6</p>	<p>Depósitos de vega aluvial limo-gravo-arenosos con paleosuelos orgánicos intercalados</p>	<p>15 m. Mayores espesores al oeste</p>	<p>< 10 m</p>	<p>El río Guaire representa el principal obstáculo natural de la ciudad de Caracas. El problema de comunicación N-S se acentúa al este del valle por la escasez de puentes</p>	<p>Concentración de daños en los sectores El Paraiso, Montalbán, Distribuidor La Anaña, San Juan, Quinta Crespo, San Martín, Santa Mónica, Los Chaguaramos, Bello Monte y Chuao</p>	<p>Evidencias de fallamiento en los depósitos lacustres Q₁ (El Pinar, parte baja)</p>	<p>- Evidencias no localizadas en el evento sísmico de 1812 - Estructuras de carga en los sedimentos lacustres (El Pinar, parte baja)</p>	<p>Obstrucciones laterales holocenas del río por irrupción de aludes torrenciales del Ávila y descargas consecutivas en la vega aluvial</p>	<p>Posible por el bajo grado de compactación de los depósitos y por la existencia en estratigrafía de paleosuelos arcillosos orgánicos, evidenciados en El Paraiso en particular</p>	<p>- Sedimentos poco consolidados a largo de la planicie de inundación de los ríos Guaire y Valle, con alto nivel de la mesa de agua - Zona de contacto roca-sedimentos lacustres (bordes de cuenca) sobre estratos rocosos del sur - Sectores de estrangulamiento de la vega aluvial propicios para fenómenos de carga y descarga en caso de obturación lateral del drenaje</p>
<p>EL MARQUES 7</p>	<p>Núcleo rocoso constituido por esquistos calcáreos micáceos y vetas de cuarzo correspondiente al Esquistos Las Mercedes, con material aluvial adosados contra la roca</p>	<p>< 20 m</p>	<p>< 10 m</p>	<p>Enclaves naturales formados por el macizo rocoso de El Marqués y la Qda. Caurimare con problemas de comunicación E-O y N-S</p>	<p>Daños muy dispersos en los alrededores del núcleo rocoso de El Marqués</p>	<p>Evidencias en rampas laterales cuaternarias Q₁ a Q₃</p>	<p>No hay evidencias</p>	<p>Aludes torrenciales holocenos provenientes de la Qda. Caurimare</p>	<p>Posible en los depósitos poco compactados de la vega aluvial de la Qda. Caurimare</p>	<p>- Zona de contacto roca-sedimento (borde de cuenca) - Qda. con espesor relleno artificial (Qda. Pasasquire)</p>
<p>CATIA 8</p>	<p>Al norte, depósitos heterogéneos de abanicos. Al sur, facies arcillo-arenosas bien compactadas</p>	<p>30 m</p>	<p>< 5 m</p>	<p>Cuenca alveolar casi cerrada y mal drenada. Problemas de comunicaciones E-O entre las urbanizaciones ubicadas entre Cúitira y Lidice por las quebradas N-S</p>	<p>Concentración de daños en los sectores de Casalta, Los Magallanes de Catia, Pérez Bonalde, Catia y 23 de Enero</p>	<p>Evidencias de fallas de edad relativa Q₃ ONO-ESE</p>	<p>No hay evidencias</p>	<p>No hay evidencias</p>	<p>Posible en los sedimentos arcillosos de la parte sur-central de la cuenca</p>	<p>- Zona de contacto roca-sedimento (borde de cuenca)</p>

Tabla 1. Continuación.

CENTRO 9	Al norte, depósitos heterogéneos de abanicos pleistocenos. Al Sur, facies distal más finas de estos mismos abanicos	60 m. Aumenta hacia el noreste	20 m. Disminuye hacia el sur	Enclaves formados por las quebradas Caroata y sus afluentes, Catucho y Anaucó, y Av. Bolívar. a) Problemas de comunicación N-S ocasionado por la Av. Bolívar. b) Problemas de comunicación E-O en las urbanizaciones ubicadas al norte entre Lídice y Cotiza por las quebradas N-S	Alta concentración de daños en los sectores Los Mecedores, La Pastora, Cotiza, San José, Allagracia, El Silencio, Santa Teresa, La Candelaria y Quebrada Honda	Evidencias en rampas laterales cuaternarias Q ₁ a Q ₂ (?)	No hay evidencias	Aludes torrenciales holocenos provenientes de la quebrada Agua Salud, Catuche y Cotiza, y eventos de aludes en 1951 y 1999	Posible en la vega aluvial de la Qda. Caroata y afluentes	- Zona de contacto sedimento-roca (estribo rocoso de El Calvario y su prolongación nivelada y soterrada hacia la Esq. La Pedrera) - Quebradas rellenadas (Qda. Los Padrones o Leandro)
LA VEGA / VALLE ARRIBA 10	Materiales arco-gravosos de origen fluvial y coluvio-torrencial	5 m	La Vega: 15 m Valle Arriba: < 5 m	La Vega: enclave natural rodeado por colinas. Presenta problemas de accesibilidad E-O y por el sur Valle Arriba: enclave natural formado por la cuenca de la Qda. Baruta. Problemas de comunicación entre las urbanizaciones ubicadas en microcuencas	Daños dispersos en La Vega y Valle Arriba	No hay evidencias	No hay evidencias	Aludes torrenciales posibles en la microcuenca de la Qda. La Vega Sin evidencias	No hay evidencias	- Zona de contacto roca-sedimento (borde de cuenca)
EL VALLE / EL GUARATARO / VISTA ALEGRE 11	Depósitos coluvio-torrenciales gravo-arenosos	El Valle: < 10 m El Guarataro-Vista Alegre: 20 m	< 10 m	Enclaves formados por las rimonadas entre los estribos rocosos al pie de las colinas; problemas de accesibilidad por el norte	Daños dispersos en los sectores El Valle, El Guarataro y Vista Alegre	No hay evidencias	No hay evidencias	No hay registro	Sin evidencias	- Zona de contacto roca-sedimento (borde de cuenca)

CONCLUSIONES

Las condiciones geológicas del Valle de Caracas, que se encuentran configuradas en el mapa geológico del Cuaternario y de las fallas cuaternarias (Singer *et al.* 2007), conducen a definir 11 microzonas homogéneas para fines de microzonificación sísmica. La discriminación de las mismas se efectuó por medio de la evaluación de cada microzona en función de 7 descriptores considerados como significativos (litología, tope de roca, mesa de agua, enclaves urbanos, daños sísmicos, deformaciones permanentes y geositios vulnerables). Al respecto, las microzonas con mejor nivel de definición geológica corresponden a las depresiones confinadas de Prado de María-El Cementerio-San Pedro y de Catia-Propatria, por la homogeneidad litológica de su relleno aluvial.

En el límite norte de la ciudad, la mayor fuente local de amenaza coincide con la franja de deformaciones piemontinas cuaternarias desarrolladas por la falla de El Ávila en su condición de falla activa de sitio. Esta bisagra estructural es responsable, además, de las modalidades de articulación de la depresión de ángulo de falla con la mole de El Ávila y de las correspondientes condiciones tectónicas de sitio, que controlan la geometría y profundidad del basamento rocoso y las consecutivas anomalías de espesor de sedimentos en las microzonas ubicadas en la franja piemontina de El Ávila entre Catia y El Marqués.

Por otra parte, la expansión lateral de los abanicos aluviales piemontinos confina a las unidades geológicas de edad más reciente y los suelos con respuesta sísmica potencialmente más conflictiva, en un estrecho corredor acuñado contra el basamento rocoso a lo largo de los ríos Guaire y Valle en las correspondientes microzonas.

Por último, y por su tendencia subsidente pronunciada y asociada al mayor espesor de sedimentos, la depresión de Campo Alegre-Los Palos Grandes-Los Ruices y sus correspondientes microzonas, se encuentran particularmente expuestas a la acción recurrente de deslaves torrenciales, como los ocurridos en época prehispánica en intervalos de tiempo del orden de 500 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNAL, E. (1961). *Algunas consideraciones sobre los asentamientos observados en las quintas de El Paraíso*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones, (2): 16-20.

BARD, P. & GARIEL, J. (1986). *The seismic response of two-*

dimensional sedimentary deposits with large vertical velocity gradients. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 76, p. 343-356.

CAMACHO, J. V. (1927). *Estudio preliminar para surtir de agua potable los acueductos de Caracas*. Editorial Patria. Caracas. 22 p.

CASTILLO, E. & RAMOS, T. (2011). *Estudio geológico de la microzona sísmica del campus universitario de la UCV y el Rincón del Valle en el Cementerio, Caracas*. Trabajo especial de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 185 p.

DELAWARE CORPORATION (SEISMOGRAPH SERVICE CORPORATION OF DELAWARE, EEUU). (1950). *Informe sobre la investigación de las aguas del subsuelo del valle de Caracas*. Inédito. Instituto de Obras Sanitarias. 189 p.

KING, J. & TUCKER, B. (1984). *Dependence of sediments-filled valley response on the input amplitude and the valley properties*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 74, N° 1, p. 153-165.

KRAMER, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Editorial Prentice Hall. 653 p.

MANZANO, L. (1951). *Crónicas de antaño*. Ávila Gráfica, S.A. Caracas. 242 p.

MEDVEDEV, S.V. (1962). *Engineering Seismology*. Moscow. 260 p.

MEDVEDEV, S.V. (1972). *Recommendations for Seismic Microzoning*. Moscow.

MONCADA, J. (2005). *Modelado gravimétrico del basamento del Municipio Libertador Distrito Metropolitano de Caracas*. Trabajo Especial de Grado: Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 116 p.

MUÑOZ, N. & SINGER, A. (1977). *Varvas lacustres preholocenas con índices de asentamientos y deformaciones tectónicas recientes del Valle de Caracas*. Memorias I Seminario de Riesgo Geológico. Caracas. 3 p. CEDI-FUNVISIS.

OROPEZA, J. & ZAMBRANO, A. (2007). *Elaboración de una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas*. Trabajo Especial de Grado: Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 246 p.

- OROPEZA, J., TAGLIAFERRO, M., MORALES, C., AMARIS, E., SINGER, A., RODRÍGUEZ, L. M., SCHMITZ, M., HERNÁNDEZ, J. J., RAMOS T., CASTILLO, E., YEGRES, C. (2009). *Guía de excursión "Efectos de sitio de origen geológico y sísmico en el Valle y Colinas de Caracas"*. Memorias V Coloquio sobre Microzonificación Sísmica como aporte para la gestión del riesgo, 17 p. CEDI-FUNVISIS (inédito).
- PARK, S. & ELRICK, S. (1998). *Predictions of shear-wave velocities in southern California using surface geology*, Bull. Seism. Soc. Am. 88, 677-685.
- RODRÍGUEZ, L. M., OLLARVES R., AUDEMARD, F., RODRÍGUEZ, J. A., SINGER, A., COLÓN, S., MIRÓ, C., VIETTE, H., REINOZA, C., MONTENEGRO, R., OJEDA, J., AGUILAR, I., VALLEÉ, M. (INÉDITO). *Sismos históricos y prehistóricos reconocidos en las ciudades de Caracas, Guarenas y Guatire, utilizando las ramas de la sismicidad histórica y de la paleosismología*.
- SANOJA, M. & VARGAS-ARENAS, I. (2002). *El agua y el poder: Caracas y la formación del Estado colonial caraqueño: 1567-1700*. Banco Central de Venezuela. Caracas. 224 p.
- SCHMITZ, M., HERNÁNDEZ, J.J., MORALES, C., TAGLIAFERRO, M., VALLEÉ, M., LEAL, V., ROCABADO, V., CANO, V., AUDEMARD, F., AGUILAR, I., CARABALLO, E., URBANI, F., RENDÓN, H., PALMA, M., VÁSQUEZ, R., ROMERO, G., LÓPEZ, R., RODRÍGUEZ, J., MOLINA, D., GONZÁLEZ, J., ARAQUE, J., OLLARVES, R., RODRÍGUEZ, L., AZUAJE, J., SINGER, A., ZAMBRANO, A., OROPEZA, J., GARCÍA, K., GONZÁLEZ, M., FLORES, Y., VILLAR, M. JUSTINIANO, A., MONCADA, J., AMARIS, E., SÁNCHEZ, J., DOMÍNGUEZ, J., HERNÁNDEZ, A., DELAUD, E., ALVARADO, L., VILOTTE, J.-P., FELIZIANI, P., CASTILLO, A., ZAMORA, J. ANZOLA, F., ZAMBRANO, H., COLMENÁREZ, L., CORNOU, C., CADET, H., AGUILAR, A., GUZMÁN, J., MARÍN, W., QUINTERO, B., (2009). *Informe Técnico Final, Volumen I Caracas, Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades Caracas y Barquisimeto* (FONACIT 200400738), FUNVISIS FUN-035a, 2007, Inédito, 978 pp.
- SCHMITZ, M., HERNÁNDEZ, J.J., MORALES, C., DOMÍNGUEZ, J., ROCABADO, V., VALLEÉ, M., TAGLIAFERRO, M., DELAUD, E., SINGER, A., AMARIS, E., MOLINA, D., GONZÁLEZ, M., LEAL, V, Y EL GRUPO DE TRABAJO DEL PROYECTO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE CARACAS. (por publicar). *Principales resultados y recomendaciones del proyecto de microzonificación sísmica de Caracas*.
- SINGER, A. (1974). *Acumulaciones torrenciales catastróficas, de posible origen sísmico, y movimientos neotectónicos de subsidencia en la parte oriental del Valle de Caracas*. Memorias I Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. Caracas, 11-3 y GEOS 22: 64-65, 1977.
- SINGER, A. (1977). *Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas, Venezuela*. Memorias V Congreso Venezolano de Geología, IV: 1861-1902.
- SINGER, A., RODRÍGUEZ, L. M., AUDEMARD, F., OLLARVES, R. (2010). *Estimación del periodo de retorno de manifestaciones de aludes torrenciales en la Serranía del Litoral, por medio de dataciones C^{14} obtenidas en trinchera al pie de El Ávila y por vía arqueogeológica, en las formaciones aluviales del Valle de Caracas*. En: Lecciones aprendidas del desastre de Vargas. Aportes científico-tecnológicos y experiencias nacionales en el campo de la prevención y mitigación de riesgos. Editor: José Luis López Sánchez. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas. p. 115-125.
- SINGER, A., ZAMBRANO, A., OROPEZA, J., TAGLIAFERRO, M. (2007). *Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25.000*. IX Congreso Geológico Venezolano [CD], Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2007.
- SOZEN, M. A., JENNINGS, P. C. MATTHIEN, R. B., HOUSNER, G. W., NEWMARK N. M. (1968). *Engineering report on the Caracas earthquake of 29 July 1967*. National Academy of Sciences. Washington, D. C. 84 p.
- URBINA, L. & GRASES, J. (1983). *Research in Seismology and Earthquake Engineering in Venezuela; Earthquakes Information Bulletin, USGS, Vol. 1, N° 1, 32-38*.
- WILLS, C. J. & SILVA, W. (1998). *Shear wave velocity characteristics of geological units in California*, Earthquake Spectra 14, 533-556.
- WILLS, C. J., PETERSEN, BRYANT, W. S., REICHLER, M. S., SAUCEDO, G. J., TAN, S. S., TAYLOR, G. C., TREIMAN, J. A. (2000). *A site-conditions map for California based on geology and shear wave velocity*, Bull. Seism. Soc. Am. 90, S187-S208.
- WILLS, C. J. & CLAHAN, K. B. (2006). *Developing a map of geologically defined site-condition categories for California*, Bull. Seism. Soc. Am. 96, 1483-1501.